

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Úsporné zdroje světla na bázi LED

bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Martin Libra, CSc.

Vypracoval: Michal Taičman

PRAHA 2011

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra fyziky

Akademický rok 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Michal Taičman

obor Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Vedoucí katedry Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu ČZU v Praze
čl. 16 určuje tuto bakalářskou práci.

Název práce: **Úsporné zdroje světla na bázi LED**

Osnova bakalářské práce:

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Stav problematiky
4. Závěr
5. Seznam literatury
6. Přílohy

Rozsah hlavní textové části: 30 - 40 stran

Doporučené zdroje:

- [1] S. Miškařík, Moderní zdroje světla, SNTL, Praha, (1979)
- [2] Poulek, V., Libra, M., Světelné zdroje..., Jemná mechanika a optika, 49, 3, (2004), str. 72-73
- [3] Libra, M., Poulek, V., Bican, P., Vysoce..., Jemná mechanika a optika, 49, 2, (2004), s. 42-43
- [4] Poulek, V., Libra, M., Světelné zdroje..., Světlo, 7, 2, (2004), str. 4-5, ISSN 1212-0812
- [5] Libra, M., Poulek, V., Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie, kniha-monografie, ILSA, Praha, (2009), 160 stran, ISBN 978-80-904311-0-2

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Martin Libra, CSc.**

Termín zadání diplomové práce: listopad 2009

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2011

.....
Vedoucí katedry



.....
Děkan

V Praze dne: 30. 11. 2009

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Úsporné zdroje světla na bázi LED“ vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Martina Libry, CSc. a využil jsem jen citovaných pramenů, které jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Informace, u kterých není uvedena citace, vycházejí ze zkušeností autora práce nebo z informací odborníka pracujícího v tomto oboru.

V Praze dne:

.....

Taičman Michal

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Martinu Librovi, CSc. za cenné rady při zpracování bakalářské práce a dále za pedagogickou a odbornou pomoc. Dále bych chtěl poděkovat panu Dipl.-Ing. Radimu Závodskému za poskytnutí cenných informací, které získal léty praxe v tomto oboru. Taktéž děkuji slečně Bc. Vendule Rodové za jazykovou korekturu.

V Praze dne:

.....

Taičman Michal

Úsporné zdroje světla na bázi LED

bakalářská práce



Abstrakt:

Obsah této práce se zabývá problematikou LED diod. Úkolem práce je bližší seznámení čtenáře s LED diodami. Na začátku práce bude zmíněna historie vzniku LED diod - od objevu luminiscence až po vysoce svítivé LED. Dále následují základní pojmy, jako například značení LED diod, terminologie související s LED diodami, zmíněny budou také různé typy LED diod. V 5. kapitole se dočteme o rozdělení LED diod dle vlnové délky a od ní se odvíjející barva LED diody. V 6. kapitole budou popsány základní zapojení LED diod, které se v praxi nejvíce využívají. Poslední část práce je zaměřena na automobilový průmysl. Do této části nás uvedou Power LED. Od nich postupně přejdeme k využití u automobilů. Jako poslední budou uvedeny některé výhody a nevýhody LED diod. Celkově bude kladen důraz hlavně na úsporu energie a s ní spojenou ochranu životního prostředí.

Klíčová slova:

LED, SMD, Power LED, Full LED světlomety, DRL, spotřeba, účinnost, životnost

Abstract:

The content of this work deals with LEDs. The goal of this work is to get deeper knowledge of reader with LEDs. At the beginning I will talk about the history of LED. I will start with the discovery of Luminescence leading to high brightness LEDs. This part is followed by the basic concepts such as LED signs, the terminology associated with LEDs, and finally I will mention the different types of LEDs. Chapter 5 deals with the distribution of LEDs according to wavelength and the final colour of LEDs. Chapter 6 describes the basics connections of LED diodes, which are most applied in practice. The conclusion is focused mainly on the automotive industry. This section starts from the power LED, than we will gradually move to the practical using in the cars. Finally, I will mention some advantages and disadvantages of LEDs. Above all, the main focus will be placed on saving of energy and the related environmental protection.

Key words:

LED, SMD, Power LED, Full LED lights, DRL, consumption, efficiency, life time

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce a metodika.....	2
2.1	Cíl práce.....	2
2.2	Metodika.....	2
3	LED technologie od počátku.....	3
3.1	Historie a objevení první LED diody (SiC).....	3
3.2	Historie a objevení první svítivé LED diody.....	4
3.3	Další vývoj LED diod.....	6
4	Základní pojmy, typy a značení LED diod.....	8
4.1	Základní pojmy.....	8
4.2	Terminologie související s LED diodami [11].....	8
4.3	Typy LED diod.....	9
4.4	Značení LED diod.....	14
5	Materiály LED, napětí a barvy.....	16
5.1	Celkové shrnutí LED diod.....	16
5.2	Vlnová délka.....	18
5.3	Výběr LED diody.....	19
6	Základní zapojení LED.....	20
6.1	Vysvětlivky ke schémátům.....	20
6.2	Sériové zapojení.....	20
6.3	Paralelní zapojení.....	22
6.4	Zapojení pomocí TTL nebo CMOS obvodu.....	23
6.5	Zapojení s tranzistorem.....	24
6.6	Zapojení pomocí šířkové modulace proudu - PWM.....	25
7	Hon za výkonem neboli Power LED.....	26
7.1	Co si představit pod pojmem Power LED.....	26

7.2	První Power LED	26
7.3	Cree, Inc.	26
7.4	Význam Power LED	27
8	Využití LED v automobilovém průmyslu [12].....	28
8.1	Využití tepla.....	28
8.2	Výhody nízké spotřeby	28
8.3	LED v brzdových světlech	30
9	Výhody a nevýhody LED, životnost LED a jejich další užití.....	31
9.1	Výhody LED technologie [25; 26; 27].....	31
9.2	Nevýhody LED technologie [27; 20].....	31
9.3	Životnost.....	32
9.4	Porovnání účinnosti LED a ostatních zdrojů světla	32
9.5	Kolik lze ušetřit?	33
10	Závěr.....	34
11	Citovaná literatura	36

1 Úvod

Téma této bakalářské práce „Úsporné zdroje světla na bázi LED“ je vybráno záměrně, neboť LED diody mají obrovský potenciál využití, ať již se jedná o komerční užití ve velkovýrobě, nebo domácí účely. Snad neexistuje v České republice nikdo, kdo by LED diody neviděl, neznal nebo o nich alespoň neslyšel. V dnešní době nás doprovází LED diody doopravdy na každém kroku, běžně se užívají jako signalizační „světla“ například v nabíječkách, noteboocích, rádiích, tiskárnách atd. Další široké využití je například v ručních svítilnách, u automobilů jako světla pro tak zvané denní svícení (DRL – Daytime Running Lights) nebo dnes již i full LED světlomety, můžeme se s nimi setkat jako s dekorativními osvětleními, ale mnohem častěji se objevují v domácnostech s klasickými paticemi E27 a E14 nebo již i v semaforech a pouličních lampách.

LED diody za sebou mají již vcelku bohatou historii a rozhodně tato technologie není žádná „novinka“ na trhu, avšak největšího vzrůstu prodeje a velkého uplatnění dosáhly v posledních několika letech. Hlavní příčinou tohoto vzrůstu prodeje je jejich obrovská doba životnosti, stálost, neměnnost barevného spektra, malá hmotnost, rozměry a mnoho dalších aspektů, které budou zmíněny a podrobněji rozepsány dále v práci. Nejdůležitějším parametrem, který však nebyl zmíněn, je jejich velmi malá spotřeba. Právě díky této malé spotřebě se začaly LED diody hojně využívat v automobilovém průmyslu a v poslední době jako náhrady úsporných žárovek v domácnostech, ale také již nahrazují tradiční výbojky v pouličních lampách. Zde není rozšíření ještě tak široké, ale pravděpodobně během pár let LED diody nahradí všechny pouliční lampy s výbojkami.

Jistě vás napadne mnoho dalších využití LED diod, o kterých by mohla tato práce pojednávat. Avšak hlavní zaměření závěru této práce bude na automobilový průmysl, o kterém by se dalo říci, že je hlavním „tahounem“ LED technologie. Je tomu tak zejména z důvodu kladení vyšších nároků na styling automobilů, především design hlavních světlometů, dále například energetické úspory, snižování emisí, snižování váhy a mnoho dalších aspektů, kterých lze dosáhnout právě díky využití LED technologie. Obecně lze říci, že LED technologie je v automobilovém průmyslu technicko-módním „top trendem č. 1“.

2 Cíl práce a metodika

2.1 Cíl práce

Cílem této práce je bližší seznámení s LED diodami, jejich vlastnostmi a pojmy často užívanými v této problematice. Vysvětlit různé typy diod, základní principy a vlastnosti, jejich výhody a nevýhody, důvody pro použití LED diod. Dále uvést příklady využití v technice a různých průmyslových odvětvích. Práce se zmíní o nových trendech a možnostech vývoje této technologie a jejím možném dopadu na životní prostředí.

2.2 Metodika

Informace, data a údaje k sepsání této bakalářské práce byly čerpány z internetových zdrojů. Nejčastěji se jednalo o zahraniční zdroje v anglickém jazyce, a to z důvodu, že české zdroje byly většinou nedůvěryhodné nebo již jednou někým přeložené originály. Dále byla data čerpána přímo od výrobců zabývajících se LED technologií, jako je například firma OSRAM, Audi, Automotive Lighting, Power Tech, Philips a další. V neposlední řadě bylo užito tištěných publikací. Obrázky jsou čerpány z internetových zdrojů, nebo jsou vlastním dílem autora práce.

3 LED technologie od počátku

3.1 Historie a objevení první LED diody (SiC)

Počátkem 20. století byl poprvé zaznamenán jev, kdy při průchodu elektrického proudu pevným materiálem bylo emitováno světlo. Tento jev byl nazván termínem elektroluminiscence. První světlo-emitující dioda (light-emitting diode - LED) byla tedy na světě. Samozřejmě se jednalo o diodu s úplně jinými vlastnostmi, než známe z dnešních diod. Její napětí bylo extrémně vysoké, svítivost velice malá. Pokud porovnáme svítivost tehdejší diody a svítivost světlušky, je to přibližně stejné, jako kdybychom porovnávali svit hvězdy se svitem Slunce. Účinnost byla mizivá, rozměry a uspořádání nepraktické, protože LED dioda nebyla zapouzdřena. Elektroluminiscence, jak byl tento jev pojmenován, je známa více jak 100 let a objevil ji pan H. J. Round v roce 1907. Zde je můj překlad jeho originálního dopisu z roku 1907, který poslal nakladatelům časopisu Elektrický Svět. Originál lze nalézt na internetu. [1].

Obrázek 1 H. J. Round (zdroj [2])



Redakci elektrotechnického světa:

PÁNOVÉ: Během zkoumání asymetrického průchodu proudu přes kontakt karbidu křemíku (SiC) a dalších látek jsem narazil na kuriózní jev. Při použití napěťového potenciálu 10 voltů mezi dvěma body se na krystalu karbidu křemíku objevilo nažloutlé světlo vycházející z krystalu. Lze však nalézt pouze jeden ze dvou vzorků, který vydává toto světlo při již tak malém napětí, ale s použitím 110 voltů lze nalézt velké množství zářivých prvků. U některých krystalů září pouze hrany, jiné krystaly vydávají místo nažloutlého světla zelené, oranžové nebo modré. Ve všech testovaných případech vychází záře z negativního pólu, jasně modro-zelená jiskra se objeví na kladném pólu. V jednotlivém krystalu, pokud se kontakt nachází blízko centra se záporným pólem a kladný pól je

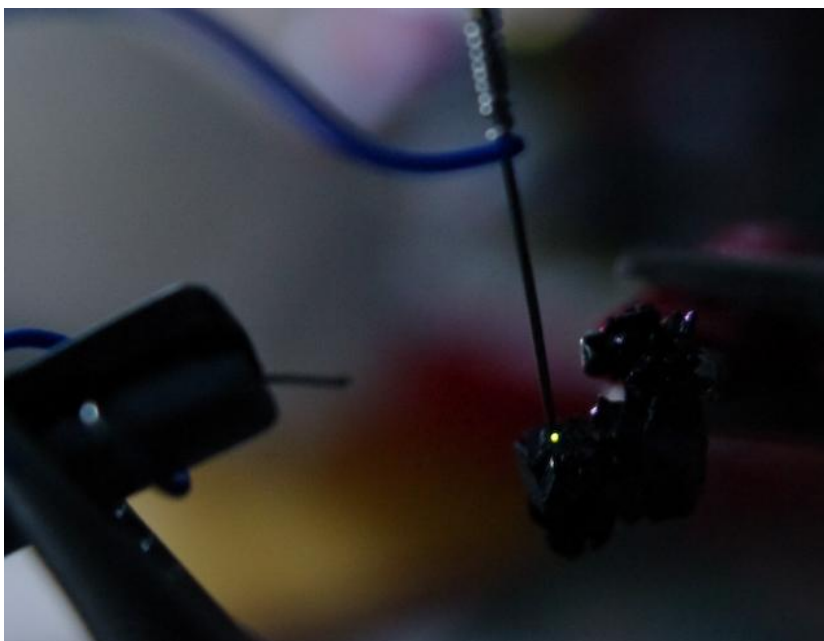
v kontaktu s jakýmkoliv jiným místem, bude zářit pouze jedna část krystalu bez ohledu na umístění kladného pólu v záporném poli.

Zdá se, že existuje souvislost mezi výše zmíněným efektem a EMF (electric magnetic field = elektricko magnetické pole) vzniklého spojením karbidu křemíku a dalších vodivých látek při zahřátí stejnosměrným nebo střídavým proudem, ale spojení může být pouze sekundární. Jako zřejmé vysvětlení EMF účinku je termoelektrická reakce. Autor tohoto článku by rád využil vašich reakcí ohledně publikovaného výzkumu při zkoumání tohoto nebo podobného úkazu.

New York, N. Y.

H. J. Round [1]

Obrázek 2 ukázka luminiscence (zdroj [3])



První LED dioda byla vytvořena ruským vědcem Olegem Vladimirovičem Losevem v roce 1920. Bohužel tato LED nenašla žádné praktické uplatnění po mnoho následujících let [2].

3.2 Historie a objevení první svítivé LED diody

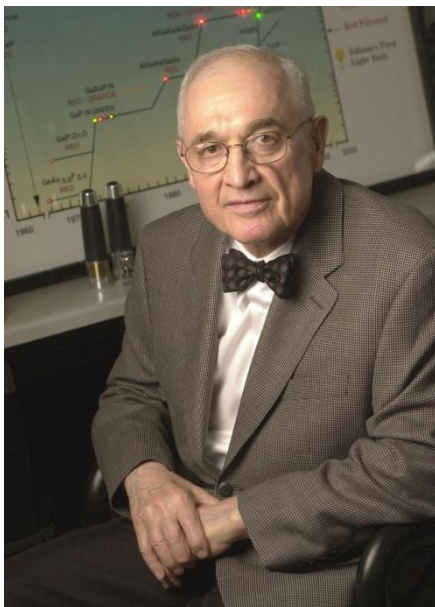
Ačkoliv první LED dioda vznikla již v roce 1907, můžeme prohlásit, že se spíše jednalo o „zářící“ kousíček karbidu křemíku než o LED diodu, kterou známe dnes. První svítivá LED dioda, která našla své pozdější uplatnění, však vznikla o mnoho let později. Jako první předzvěst svítivé LED diody bylo objevení infračervené emise v LED diodách gallium arsenidových (GaAs) v roce 1955 panem Rubinem Braunsteinem. Tohoto poznatku využili v roce 1961 vynálezci Bob Biard a Gary Pittman,

kteří společně pracovali pro Texas Instruments na vývoji GaAs diod a v roce 1961 obdrželi patent na infračervené LED diody [2; 4].

Tato LED dioda emitovala infračervené světlo o vlnové délce okolo 870 nm. Jako první ji začala prodávat právě firma Texas Instruments. Prodejní množství a výrobní kapacita byla velice nízká, pravděpodobně za toto mohla velmi vysoká cena, která tehdy činila 130 US\$ za jediný kus [1].

Od objevení luminiscence uplynulo dlouhých 55 let a až v roce 1962 vyvinul americký vědec Nick Holonyak, Jr. první svítivou LED diodu. Jeho úspěch byl dán hlavně snahou odlišit se od ostatních. Zatímco se všichni vynálezci soustředili na infračervené světlo, Holonyak vynalezl metodu, jak získat viditelné světlo z infračerveného. Jeho metoda spočívala ve změně vlnové délky světla, respektive v posunu do viditelného spektra. Toho bylo docíleno užitím gallium arsenido fosfátové diody (GaAsP). Je tedy zřejmé, že první LED dioda svítila červenou barvou. Sám Holonyak tehdy prohlásil: „Chtěl jsem pracovat ve viditelném spektru, kde je lidské oko schopno vidět, zatímco všichni ostatní se soustředili na infračervené spektrum.“ Holonyakův objev měl a doposud má obrovský vliv na světelný průmysl, globální komunikaci a na spotřební zboží. Díky tomuto objevu obdržel v roce 2004 prestižní ocenění Lemelson-MIT Prize a odměnu ve výši 500,000 US\$ [5].

Obrázek 3 Nick Holonyak Jr (zdroj [6])



První komerčně vyráběná a prodávaná GaAsP LED byla nabízena společností General Electric (GE). Výrobní i prodejní množství bylo velmi nízké, pravděpodobně opět kvůli astronomické ceně, která tehdy činila 260 US\$ za jediný kus LED diody. Produkt byl nabízen v Allied Radio katalogu, který byl velmi oblíbený mezi radioamatéry. První masová produkce LED začala až v roce 1968, kdy se firma Monsanto rozhodla postavit továrnu, která by měla vyrábět levné GaAsP LED diody a prodávat je

veřejnosti. V rozmezí let 1968-1970 rostl prodej neuvěřitelně rychle, zdvojnásobil se téměř každý měsíc. Firma Monsanto spolupracovala také s firmou Hewlett-Packart (HP). Spolupráce spočívala v tom, že v HP se vyráběly diody a LED displeje a Monsanto obstarávalo materiál na výrobu (tedy GaAsP). Ovšem tato spolupráce dlouho nevydržela, protože společnost HP cítila, že být závislý na někom není dobré, a proto spolupráce skončila a HP začala vyrábět vlastní GaAsP diody [1].

3.3 Další vývoj LED diod

Protože první LED dioda svítila pouze červenou barvou a její svit byl velmi slabý, bylo třeba přijít na nové metody vývoje LED diod, které by zajistily větší svítivost, levnější výrobu, více barev, různé úhly vyzařování, možnost umístění čipu do různých pouzder, zlepšení provozních vlastností a mnoho dalších aspektů.

Velmi důležitou osobou ve vývoji LED byl M. George Craford, technický inovátor a manažer ve firmě Monsanto. Craford byl Holonyakův žák a v roce 1972 vyvinul žlutě svítící LED diodu. Mimo jiné také zdokonalil světlost červené diody a červeno-oranžové diody. Koncepte žluté diody vycházela z červené diody, která byla obohacena o dusík. Když v roce 1979 prodala firma Monsanto svůj optoelektronický průmysl, přestoupil Craford do firmy HP, kde se stal důležitou osobou v LED odvětví [1; 2; 7].

Obrázek 4 M. George Craford (zdroj [8])



První vysoce svítivou LED vyrobil pan T. P. Pearsall v roce 1976. Tato LED byla užívána pro optické vedení v telekomunikacích. Společnosti jako např. Lumileds a Cree Inc. (o Cree Inc bude ještě zmínka dále v práci v souvislosti s High Power LED) začaly vyvíjet LED diody, které pracují při příkonu 1 W nebo i více. Tyto LED byly předurčeny jako náhrada klasických žárovek, avšak svítí

daleko jasněji a mají jasně bílou barvu. Pořád se ale čeká na LED diody, které by pokryly stejnou plochu jako klasické žárovky (tedy 360°), a to za cenu klasické žárovky [2].

Jak již bylo uvedeno výše, tehdejší ceny LED diod byly extrémně vysoké. Tato situace se začala zlepšovat po roce 1968. V roce 1976 představila firma Texas Instruments svou první kalkulačku TI-30, která stála 24,95 US\$. Toto byla naprosto bezkonkurenční cena, protože nejlevnější kalkulačka od firmy HP stála tehdy přes 100 US\$. Okamžitě si ji začali kupovat studenti a široká veřejnost po celém světě, a kalkulačka TI-30 se tak stala nejprodávanější kalkulačkou v celé historii. Mezi lety 1976-1983 se jich vyrobilo a prodalo přes 15 milionů. S poklesem cen se také začaly postupně objevovat první digitální hodinky se sedmsegmentovým displejem [2].

Obrázek 5 TI-30 (zdroj [9])



Obrázek 6 První hodinky s LED displejem (zdroj [10])

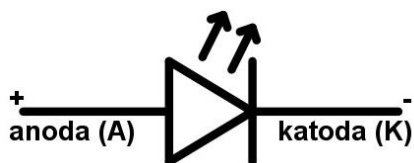


4 Základní pojmy, typy a značení LED diod

4.1 Základní pojmy

Protože LED diody svítí pouze při připojení napětí ve správném směru (polaritě), je nutné vědět, jak zapojit LED do obvodu. V případě obrácení polarity nedojde k poškození diody, protože závěrné napětí je dáno Zenerovou charakteristikou. Toto napětí se pohybuje cca kolem -5 V, tedy více, než je maximální dovolené napětí diody v propustném směru. Zapojení v propustném směru znamená, že kladný pól zdroje (+) připojíme k anodě LED diody (A) a záporný pól zdroje (-) připojíme ke katodě LED diody (K). Schematické znázornění vypadá takto.

Obrázek 7 Grafické znázornění diody (foto - autor)



Podrobnější značení a rozeznávání anody a katody viz kapitola 4.3.

4.2 Terminologie související s LED diodami [11]

S LED diodami souvisí různé fyzikální veličiny. Vypíši zde několik nejdůležitějších.

Prostorový úhel ω , jednotka steradián, značka sr: Prostorový úhel se měří podle plochy, kterou kužel omezující prostorový úhel vytíná z kulové plochy jednotkovým poloměrem z vrcholu úhlu. Velikost prostorového úhlu, který vytne z kulové plochy o poloměru r plochu vrchlíku A , je pak dána vztahem $\omega = A/r^2$. Plný prostorový úhel $\omega = 4\pi r^2/r^2 = 4\pi$ steradiánů (sr).

Svítivost L , jednotka kandela, značka cd: Svítivost je světelný tok, který vyzařuje bodový zdroj do prostorového úhlu 1 steradián. Jde o skalární veličinu. Jednotka svítivosti kandela je v soustavě SI základní fotometrickou jednotkou. Jedna kandela je rovna 1/60 kolmé svítivosti čtverečního centimetru černého tělesa při teplotě tuhnutí platiny (1 772 °C) za tlaku 101325 Pa.

Světelný tok (někdy také světelný výkon) Φ , jednotka lumen, značka lm: Jeden lumen je světelný tok, vysílaný bodovým zdrojem do prostorového úhlu 1 steradián při svítivosti zdroje 1 cd. Světelný tok se vypočítá jako součin svítivosti a prostorového úhlu Φ , ve kterém světelný tok měříme, $\Phi = L \cdot \omega$. Rozměr světelného toku je $[\Phi] = \text{lm} = \text{cd} \cdot \text{sr}$.

Měrný světelný výkon (Overall luminous efficacy), značka P , jednotka lm/W : Je poměr světelného toku v lm k příslušnému zářivému toku ve W touž plochou pro libovolný zdroj světla.

Osvětlení nebo osvětlenost E , jednotka lux, značka lx : Jeden lux je osvětlení 1 m^2 plochy rovnoměrným světelným tokem o velikosti jednoho lumenu.

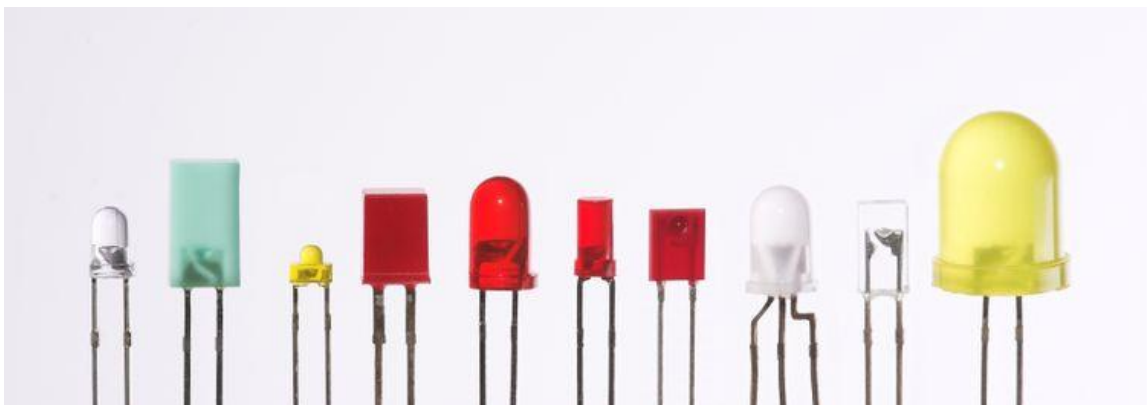
4.3 Typy LED diod

Základní LED můžeme označit jako jednobarevné (one colour). Každá z těchto LED může svítit jinou barvou (červená, žlutá, modrá, bílá), ale také mohou mít různé tvary pouzdra. Například kulaté, čtvercové, obdélníkové, válcové. Tvar pouzdra má značný vliv na úhel vyzařování. Válcové diody vyzařují pod velkým úhlem (až 135°).

Zvláštním typem jednobarevných LED jsou blikající LED. Jedná se o LED diody, které mají přímo v pouzdře zabudovaný jednoduchý integrovaný obvod, zajišťující blikání. Frekvence blikání bývá obvykle 3Hz , tedy 3 bliknutí za sekundu. Tato frekvence je pevně dána. Pokud tato frekvence nevyhovuje, je možné si požadovanou LED diodu vyrobit za pomoci klasické svítivé LED diody a integrovaného obvodu 555, popř. jiných integrovaných obvodů, tranzistorů atd.

Miniaturní LED diody nazýváme SMD. Od klasických LED diod se liší jak svými rozměry (obvykle cca. $2 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ až $6 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$), tak tvarem pouzdra [12].

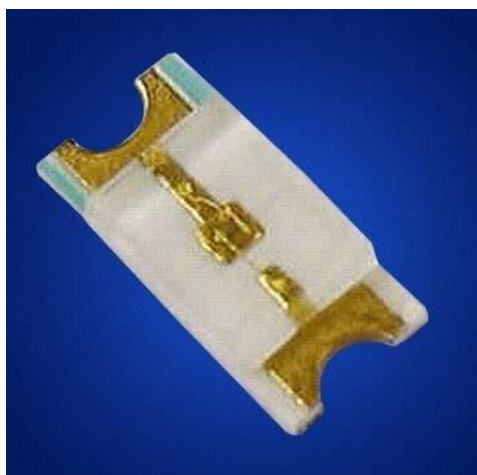
Obrázek 8 Různé typy LED diod (zdroj [13])



Obrázek 9 SMD LED dioda PLCC2 (zdroj [14])

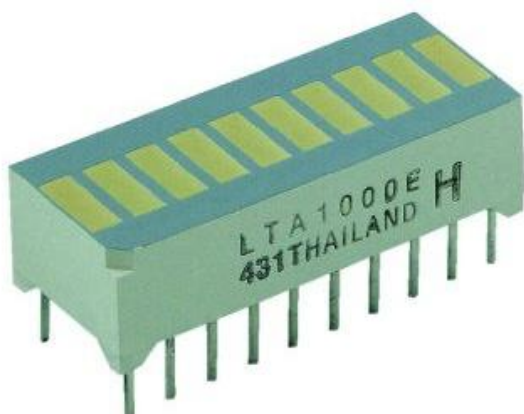


Obrázek 10 SMD LED dioda 1206 (zdroj [15])



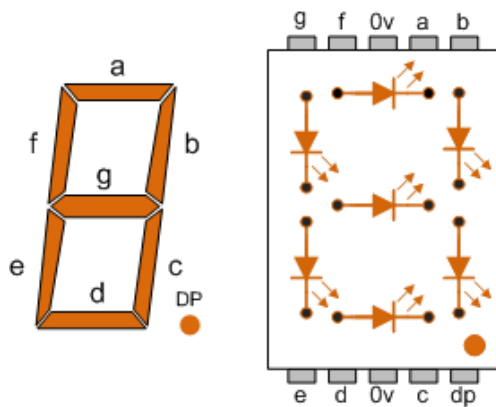
Od jednobarevných LED diod se dále odvíjí různé typy LED displejů. Pomocí různého seřazení LED diod můžeme vytvořit Bargrafy, ukazující například hudební špičky, kapacitu nebo napětí baterií, sílu signálu, stav nabití blesků (využíváno spíše dříve u externích blesků k zrcadlovým fotoaparátům) nebo mohou sloužit jako signalizace úrovně hlasitosti, atp.

Obrázek 11 Bargraf (zdroj [16])



Jedním z dalších typů jsou 7 nebo 8segmentové displeje. S těmi se nejčastěji setkáváme v radiobudících, nástěnných hodinách, signalizačních tabulích, hojně byly také využívány u kalkulaček a náramkových hodinek. Vylepšená verze sedmisegmentových displejů je známa pod názvem Starburst. Tyto displeje jsou dodnes užívány například v autorádiích (pokud již nemá LCD panel), kde mohou ukazovat frekvenci, název stanice, název hrajícího alba, čas a mnoho dalších informací. Také je nalezneme téměř u každé hi-fi věže, kde je jejich funkce obdobná jako u autorádií.

Obrázek 12 8segmentový displej (zdroj [17])



Obrázek 13 Ukázka využití 8segmentového displeje (foto - autor)

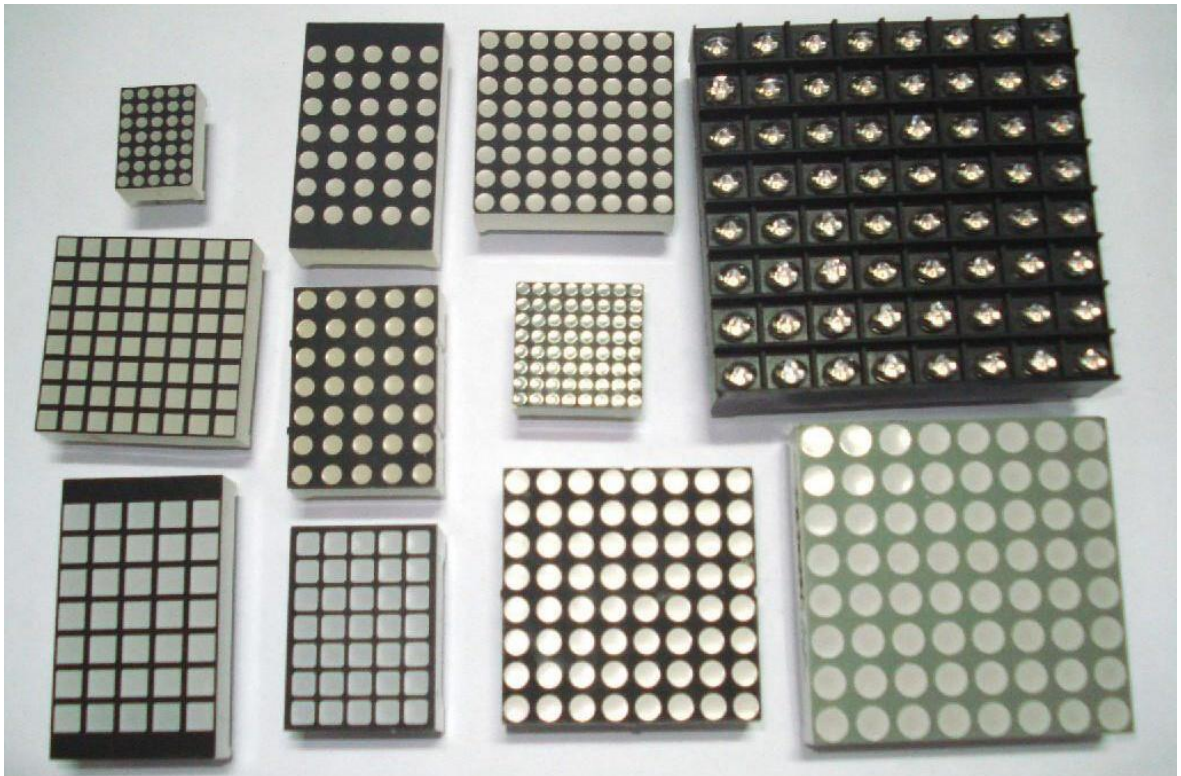


Obrázek 14 Starburst displej (zdroj [18])



Posledním uvedeným typem je displej s bodovou maticí, neboli Dot Matrix. Tyto displeje jsou rozšířeny například v autobusech městské hromadné dopravy, kde označují cílovou stanici nebo číslo autobusu, dále v metru, na letištích, v různých sportovně-rekreačních střediscích, ale také je známe z heren a různých barů. Obecně můžeme říci, že tyto displeje jsou užity na všech informačních tabulích [12].

Obrázek 15 Dot Matrix displeje (zdroj [19])

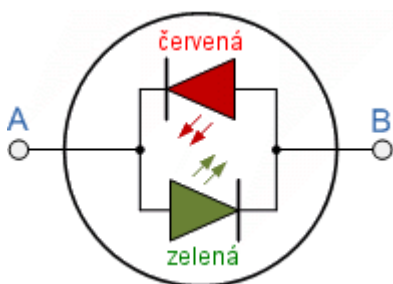


Obrázek 16 Ukázka využití Dot Matrix displeje (foto - autor)



Speciálním případem LED jsou tzv. dvoubarevné, třibarevné a vícebarevné LED. Uvnitř pouzdra těchto LED bývají zpravidla dvě LED diody různých barev (většinou červená a zelená). Při různém zapojení se rozsvítí buď jedna, nebo druhá LED dioda. Mohou svítit také obě současně, a podle toho, s jakou intenzitou každá z nich svítí, je výsledná barva vnímána například jako oranžová nebo žlutá [17].

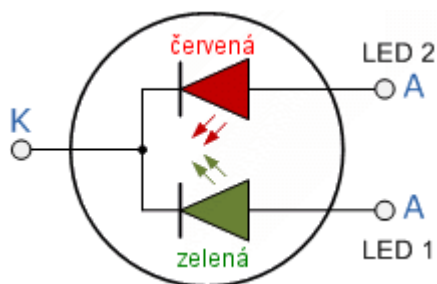
Obrázek 17 Vícebarevná LED (zdroj [17])



Tabulka 1 Možnosti zobrazení výsledné barvy (zdroj [17])

Zvolená LED	Vstup A		AC
	+	-	
Zelená	ON	OFF	ON
Červená	OFF	ON	ON
Výsledná barva	Zelená	Červená	Žlutá

Obrázek 18 Vícebarevná LED (zdroj [17])



Tabulka 2 Možnosti zobrazení výsledné barvy (zdroj [17])

Výsledná barva	Červená	Oranžová	Žlutá	Zelená
Zelená	0 mA	5 mA	9,5 mA	15 mA
červená	10 mA	6,5 mA	3,5 mA	0 mA

4.4 Značení LED diod

K tomu, abychom zapojili LED diodu správně, nám napomáhají různé vodící znaky, které jsou výrobcem umísťovány na každou LED diodu. Tento standard je již velmi dobře zažitý a téměř se stoprocentní jistotou lze říci, že je dodržován. Pokud bychom si chtěli být naprosto jisti, není nic jednoduššího, než si LED diodu proměřit multimetrem nebo ji sériově zapojit do „testovacího“ obvodu, ovšem vždy s předřadným odporem. Jednotlivé vodící znaky nám lépe přiblíží následující tabulka a ilustrační obrázky.

Tabulka 3 Značení LED diod (zdroj [20])

1.	Znaménko	+	-
2.	Polarita	Kladná	Záporná
3.	Výstup	Anoda (A)	Katoda (K)
4.	Zapojení - barevně	Červený	Černý
5.	Délka pinu	dlouhý	Krátký
6.	Uvnitř pouzdra diody	Menší	Větší
7.	Tvar pouzdra z vnějšku	Zakulacené	Zbroušené (rovné)
8.	Tvar pouzdra z vnějšku	Neoznačeno	Proužek
9.	Tvar pouzdra z vnějšku	Neoznačeno	Seříznutý růžek

5 Materiály LED, napětí a barvy

Použité materiály mají velký vliv na fyzikální vlastnosti LED diod. Od použitých materiálů se odvíjí napětí LED diod a v jisté míře i svítivost nebo barva. Následující tabulka nám přiblíží, z jakých prvků jsou LED diody vyráběny, jakých barev se dá dosáhnout, jaká je vlnová délka, napětí (při vstupním proudu cca 20 mA), svítivost nebo viditelný úhel vyzařování. Tabulka není směrodatná, můžeme naleznout a určitě nalezneme LED diody s jinou svítivostí nebo jiným úhlem vyzařování. Tyto odlišnosti jsou dány provedením pouzdra LED diody. Zbývající údaje jsou přibližně stejné.

5.1 Celkové shrnutí LED diod

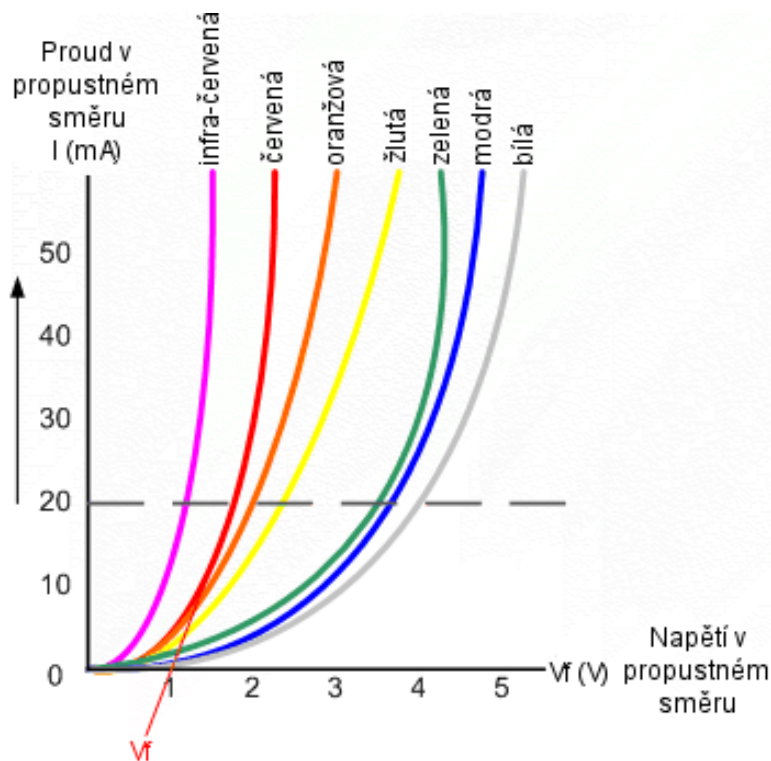
Tabulka 4 Jednotlivé vlnové délky, barvy, napětí, světelné výkony, pozorovací úhly a typy materiálů LED (zdroj [21])

Vlnová délka (nm)	Vyzařovaná barva	Dopředné napětí (Vf @ 20ma)	Světelný výkon 5mm LED diody	Pozorovací úhel	Materiál LED
940	infrared	1.5	16 mW @ 50 mA	15°	GaAIAs/GaAs - Gallium Aluminum Arsenide/Gallium Arsenide
880	infrared	1.7	18 mW @ 50 mA	15°	GaAIAs/GaAs - Gallium Aluminum Arsenide/Gallium Arsenide
850	infrared	1.7	26 mW @ 50 mA	15°	GaAIAs/GaAs - Gallium Aluminum Arsenide/Gallium Arsenide
660	ultra red	1.8	2000 mcd @ 50 mA	15°	GaAIAs/GaAs - Gallium Aluminum Arsenide/Gallium Arsenide
635	high efficiency red	2.0	200 mcd @ 20 mA	15°	GaAsP/GaP - Gallium Arsenic Phosphide / Gallium Phosphide
633	super red	2.2	3500 mcd @ 20 mA	15°	InGaAIP - Indium Gallium Aluminum Phosphide
620	super orange	2.2	4500 mcd @ 20 mA	15°	InGaAIP - Indium Gallium Aluminum Phosphide
612	super orange	2.2	6500 mcd @ 20 mA	15°	InGaAIP - Indium Gallium Aluminum Phosphide
605	orange	2.1	160 mcd @ 20 mA	15°	GaAsP/GaP - Gallium Arsenic Phosphide / Gallium Phosphide
595	super yellow	2.2	5500 mcd @ 20 mA	15°	InGaAIP - Indium Gallium Aluminum Phosphide

592	super pure yellow	2.1	7000 mcd @ 20 mA	15°	InGaAlP - Indium Gallium Aluminum Phosphide
585	yellow	2.1	100 mcd @ 20 mA	15°	GaAsP/GaP - Gallium Arsenic Phosphide / Gallium Phosphide
4500 K	"incandescent white"	3.6	2000 mcd @ 20 mA	20°	SiC/GaN - Silicon Carbide/Gallium Nitride
6500 K	pale white	3.6	4000 mcd @ 20 mA	20°	SiC/GaN - Silicon Carbide/Gallium Nitride
8000 K	cool white	3.6	6000 mcd @ 20 mA	20°	InGaAlP - Indium Gallium Aluminum Phosphide
574	super lime yellow	2.4	1000 mcd @ 20 mA	15°	InGaAlP - Indium Gallium Aluminum Phosphide
570	super lime green	2.0	1000 mcd @ 20 mA	15°	InGaAlP - Indium Gallium Aluminum Phosphide
565	high efficiency green	2.1	200 mcd @ 20 mA	15°	GaP - Gallium Phosphide
560	super pure green	2.1	350 mcd @ 20 mA	15°	InGaAlP - Indium Gallium Aluminum Phosphide
555	pure green	2.1	80 mcd @ 20 mA	15°	GaP - Gallium Phosphide
525	aqua green	3.5	10000 mcd @ 20 mA	15°	SiC/GaN - Silicon Carbide / Gallium Nitride
505	blue green	3.5	2000 mcd @ 20 mA	45°	SiC/GaN - Silicon Carbide / Gallium Nitride
470	super blue	3.6	3000 mcd @ 20 mA	15°	SiC/GaN - Silicon Carbide / Gallium Nitride
430	ultra blue	3.8	100 mcd @ 20 mA	15°	SiC/GaN - Silicon Carbide / Gallium Nitride

Grafické znázornění ukazuje napětí různých LED diod z jiného zdroje, než pocházejí data ve výše uvedené tabulce. Za povšimnutí stojí, že například bílá LED dioda má větší napětí než modrá, zelená a žlutá LED dioda, což odporuje datům ve výše uvedené tabulce. Na první pohled by se mohlo zdát, že tento rozdíl mezi tabulkou a grafem je dán chybně zapsanými údaji. Pravdou ale je, že tabulka i graf vycházejí z různých technických údajů.

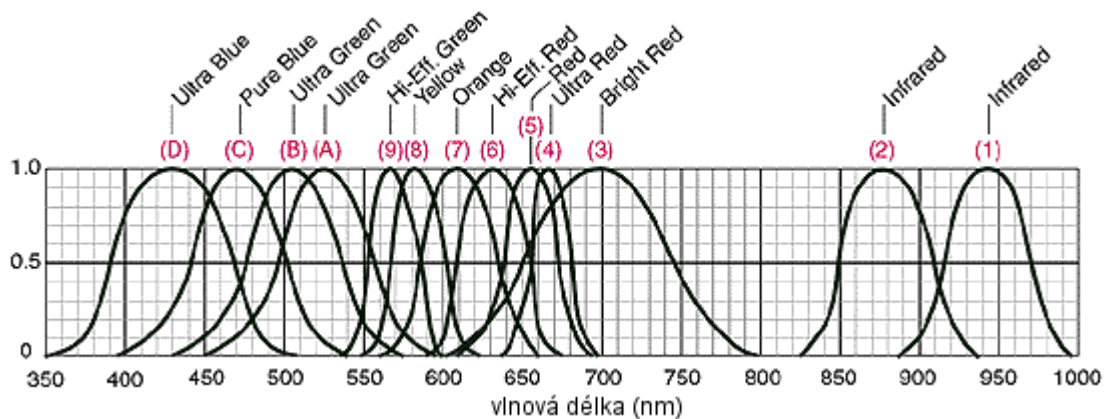
Obrázek 20 Napětí jednotlivých barev (zdroj [17])



5.2 Vlnová délka

Pro lepší představu je vlnová délka jednotlivých LED diod znázorněna v grafu níže. Jak je z grafu patrné, barva LED diody je dána vlnovou délkou světla.

Obrázek 21 Vlnová délka jednotlivých barev (zdroj [21])



5.3 Výběr LED diody

Při nákupu LED diody je doporučováno dohledat si jednotlivé údaje v katalogu výrobce nebo prodejce. U nás je nejznámějším a největším prodejcem obchodní síť GM Electronics. Na jejích internetových stránkách nalezneme online katalog výrobků, který nás podrobně seznamuje s technickými údaji, jako jsou rozměry, napětí, provozní teploty atd. Pokud bychom chtěli tyto informace v tištěné podobě, můžeme si katalog přímo v prodejně zakoupit. Starší katalogy jsou zdarma, můžeme tedy využít i této nabídky, neboť technické parametry LED diod se nemění příliš často.

6 Základní zapojení LED

Zapojení s LED diodami může být nespočet, protože jsou široce použitelné díky malým rozměrům. Nejčastějším typem zapojení je sériové popřípadě paralelní nebo sério-paralelní. Dále se můžeme setkat se složitějším řízením LED diod pomocí TTL logických obvodů nebo tranzistorů. Jako poslední příklad uvedu řízení pomocí šířkové modulace signálu (napětí) neboli PWM. Ukážeme si výpočet odporu v sériovém zapojení, protože toto zapojení je nejužívanější, a je nutné vědět, jak velký odpor zvolit, aby nám diodou procházel požadovaný proud.

6.1 Vysvětlivky ke schémátům

Označení odporů, proudů, napětí může být schéma od schématu různé. V našem případě bylo užito následujícího označení.

R_S = sériový odpor

V_S = napětí na svorkách (vstupní napětí)

V_F = napětí na diodě (maximální dovolené napětí diody)

I_F = maximální dovolený protékající proud diodou

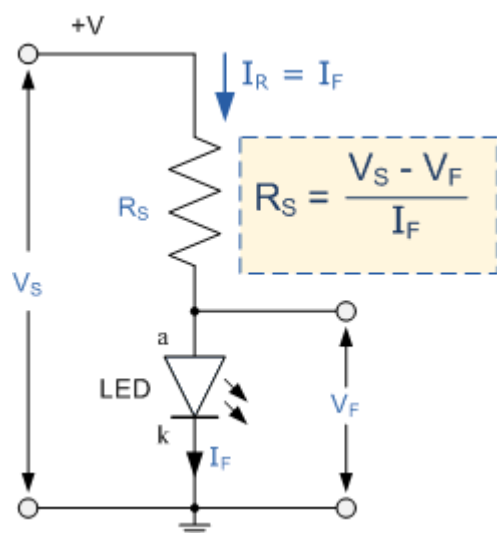
Ve schématu je užito americké značení odporu. Tedy místo klasického „obdélníku“ je zde užito značení „pružiny“. Toto je naprosto korektní, jen se jedná o jiný standard. Tento standard byl dříve využíván i u nás. Například se s ním můžeme setkat ve starých radioamatérských časopisech.

6.2 Sériové zapojení

Výpočet sériově zapojeného odporu R_S je velmi jednoduchý. Provádí se pomocí Ohmova zákona ($R = \frac{U}{I}$). R je odpor, U je napětí na svorkách mínus napětí diody a I je proud procházející diodou.

Aby byl výsledný odpor R v $[\Omega]$, je nutno napětí U dosadit ve $[V]$ a proud I v $[A]$ [17].

Obrázek 22 Sériové zapojení LED (zdroj [17])



Jako názorný příklad takového výpočtu si zde uvedeme jednoduchý výpočet pro obvod se zdrojem $V_S = 12$ [V] a modrou LED diodou, která má následující parametry: $V_F = 3,5$ [V], $I_F = 30$ [mA].

Rovnice 1

$$R_S = \frac{V_S - V_F}{I_F} = \frac{12 - 3,5}{30} = \frac{8,5}{30 \times 10^{-3}} = 283,3 \Omega$$

Odpor je $283,3 \Omega$. Odpor jsou standardizovány v různých řadách. Tyto řady se značí E6, E12, E24, E48, E96. Nejběžnější je řada E12, ve které najdeme rezistory dekadického násobku následujících hodnot: 1; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2. Nejbližší odpor k výše vypočítanému je tedy 330Ω (musíme volit vždy vyšší). Řady nás mimo jiné informují o přesnosti odporů. Například v řadě E12 je tolerance 10 %, naopak v řadě E96 již jen pouhé 1 %. Samozřejmě by bylo možno vypočítaný odpor složit nebo jej nastavit přesným potenciometrem. Toto je nevýhodné z několika důvodů. Jedním z nich je, že na jasu diody nebude přesné nastavení poznat. Je vhodnější, když napětí a proud poddimenzujeme, a zabráníme tak zbytečnému přehřívání diody, což vede k vyšší životnosti LED diody. Pokud by nás zajímalo, jaký proud poteče nyní diodou, můžeme si toto opět snadno vypočítat jednoduchou úpravou již užitého vzorce.

Rovnice 2

$$R_S = \frac{V_S - V_F}{I_F} \Rightarrow I_F = \frac{V_S - V_F}{R_S} = \frac{12 - 3,5}{300} = \frac{8,5}{300} = 28,3 \text{ mA}$$

Jak je vidět, i při relativně velké změně odporu (cca o 50Ω) je úbytek proudu na diodě minimální (cca 2 mA).

Při zapojení více LED sériově za sebou musíme brát v úvahu jejich součtové napětí!

Ke snadnému výpočtu odporů můžeme využít některé internetové stránky, např. <http://elektrolab.wz.cz/?nizkenapeti=25>. Zde při zadání všech potřebných dat, tedy napětí zdroje, napětí a proudu diody získáme velikost výsledného odpor. Užítí těchto stránek není zpoplatněno. Pro častější potřebu bych doporučil malý, ale efektivní program s názvem „LEDCalc“. V programu si vybereme zapojení (sériové, paralelní), dále zadáme napájecí napětí a jednoduše si „naklikáme“ již předvolené diody. V případě, že je nutno užít diody, které nejsou nadefinované, můžeme si je snadno sami do programu dopsat. Velikost odporu je automaticky počítána při jakékoliv změně hodnoty.

Obrázek 23 Rozhraní programu LEDCalc (foto – autor)



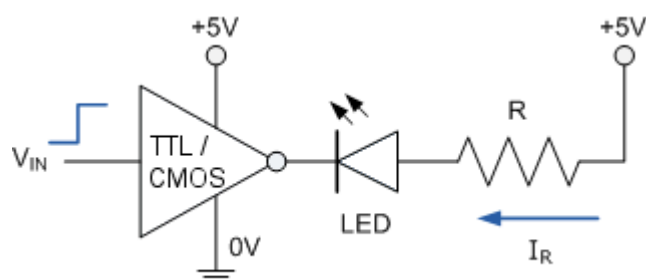
6.3 Paralelní zapojení

Zapojit několik LED paralelně pouze s jedním odporem, je všeobecně vzato špatný nápad. Pokud uvážíme různé diody s odlišným napětím, mohou nastat dvě situace. Za prvé: LED dioda s nejmenším napětím může shořet. Za druhé: diody s nejvyšším napětím nebudou svítit naplno. Paralelního zapojení můžeme využít pouze v případě, že máme naprosto stejné LED diody. Pokud vezmeme v úvahu nepatrnou cenu odporu, je lepší zapojit každou diodu se svým vlastním odporem. V tomto případě by se tedy jednalo o již výše zmíněné a popsané sériové zapojení. [12].

6.4 Zapojení pomocí TTL nebo CMOS obvodu

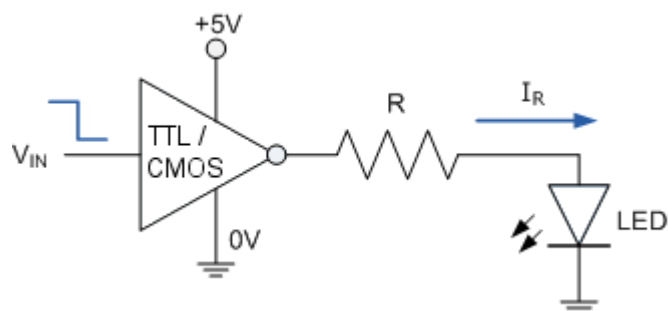
Zapojení pomocí TTL nebo CMOS se užívá hlavně pro řízení LED diod, například pro sledování stavu přístroje nebo zařízení. Běžné integrované obvody (IO) mají výstupní proud kolem 50 mA. Protože LED diody mají běžný proudový rozsah kolem 10 – 30 mA, je tato hodnota naprosto dostačující. Opět se jedná o sériové zapojení LED diody a odporu pro omezení proudu protékajícího diodou. Do obvodu je přidán pouze IO. Toto zapojení může mít dvě odlišné varianty. Na obrázku číslo 1 vidíme řízení pomocí kladné logiky a na obrázku číslo 2 vidíme řízení pomocí záporné logiky. Princip činnosti si vysvětlíme níže [17].

Obrázek 24 Zapojení pomocí TTL nebo CMOS (zdroj [17])



V tomto zapojení ve výchozím stavu LED dioda nesvítí. Vstup V_{IN} je v logické 0 (tedy bez napětí). Tento stav bývá také označován jako low. LED dioda je napájena +5 V a výstup IO je propojen s +5 V, které jsou přiváděny do IO. Potenciál mezi diodou a výstupem IO je tedy 0V a LED dioda nemůže svítit. Ve chvíli, kdy se na vstupu V_{IN} objeví logická 1 (přivedeme napětí) nebo tzv. stav high, propojí se výstup IO se zemí IO. V tuto chvíli vznikne rozdílné napětí mezi diodou a výstupem IO, z čehož plyne, že se LED dioda rozsvítí. Napětí je sníženo vlivem odporu, není tedy plných 5V. Bez odporu by nám LED dioda shořela. Užití tohoto zapojení si můžeme v praxi představit například jako indikaci zapnutého přístroje. Pokud je přístroj vypnutý, LED dioda nesvítí, ale ve chvíli, kdy uvedeme zařízení do provozu, LED dioda se rozsvítí.

Obrázek 25 Zapojení pomocí TTL nebo CMOS (zdroj [17])



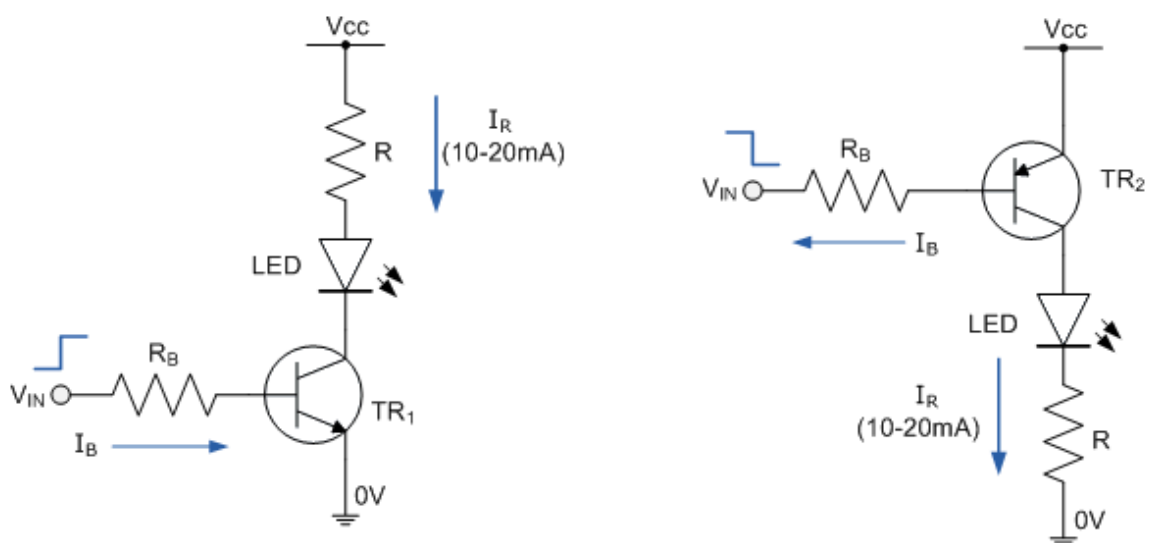
Dalo by se říci, že tato verze je jak zapojením, tak funkčně přesným opakem výše uvedeného zapojení, avšak princip zůstává stejný. Výchozí stav je 1 neboli high, výstup IO je uzemněn. Protože LED dioda je také uzemněna, výsledný potenciál je 0 V, tudíž LED dioda nesvítí. Pokud vstup klesne na 0 neboli low, propojí se výstup IO s +5 V. Výsledkem je, že na diodě se objeví potenciál o velikosti méně než 5 V (napětí je opět sníženo odporem). Toto zapojení si v praxi lze představit například jako indikaci vypnutí přístroje. Pokud bude přístroj pod proudem, LED dioda nebude svítit. V okamžiku, kdy přístroj vypneme, se LED dioda rozsvítí.

6.5 Zapojení s tranzistorem

V případě, že potřebujeme řídit větší počet LED diod (například u velkých LED polí), a důsledkem toho je výkon IO nedostačující, můžeme použít diskrétních součástí místo IO. Alternativou k IO jsou bipolární tranzistory typu NPN nebo PNP [17].

Jak je vidět na obrázku číslo 3, zapojení s tranzistorem se nijak výrazně neliší od zapojení s použitím IO. Také princip zůstává naprosto stejný. U prvního nákresu opět platí, že pokud není připojeno napětí nebo není přiveden signál na vstup V_{IN} tranzistoru (low), dioda nesvítí. U druhého nákresu je tomu naopak, dokud máme přivedeno napětí nebo signál (high), dioda nesvítí.

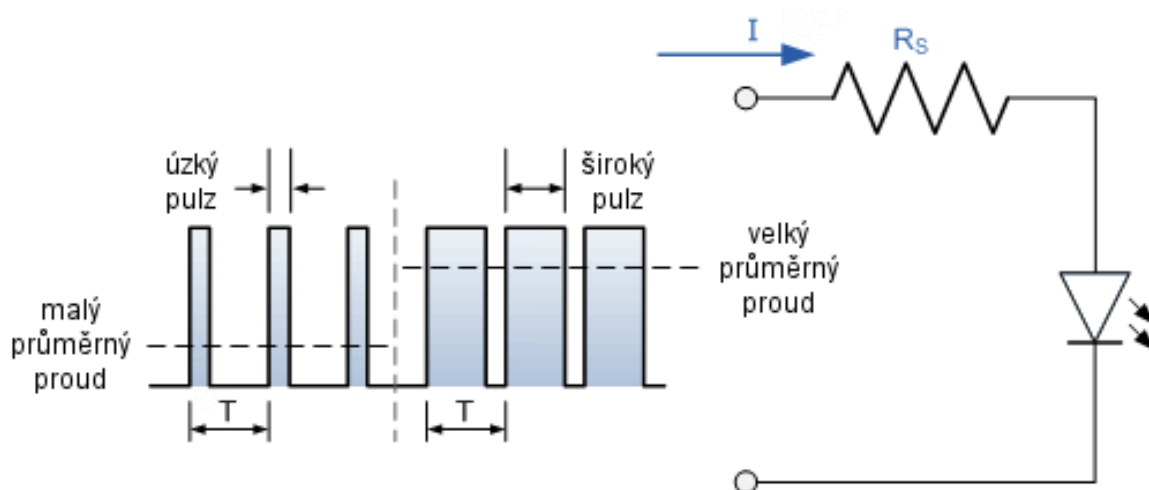
Obrázek 26 Zapojení pomocí tranzistorů (zdroj [17])



6.6 Zapojení pomocí šířkové modulace proudu - PWM

Pokud potřebujeme řídit svítivost LED diod, je vhodné využít právě řízení pomocí šířkové modulace neboli PWM (Pulse Width Modulate). Princip činnosti této modulace spočívá ve velmi rychlém přepínání stavů zapnuto – vypnuto (1 – 0). Pokud si prohlédneme obrázek níže, zjistíme, že průměrný proud procházející diodou je možné stavy 1 – 0 měnit. Přepínání stavů je velice rychlé, a protože lidské oko je „nedokonalé“, světlo vycházející z diody je vnímáno jako celistvé. Pokud je frekvence přepínání například 100 Hz nebo vyšší, může se zdát, že dioda svítí více než při přímém napájení. Tohoto zapojení lze velmi dobře využít například v kombinaci s vhodně zvoleným IO nebo s vhodně napsaným programem k opakovanému rozsvícení a zhasínání LED diody, například u nízkoenergetických zdrojů, protože výsledný proud procházející diodou může být menší než 5 mA. Pokud bychom nevyužili PWM metody, pravděpodobně by se nám ani LED dioda při takto nízkém proudu nerozsvítila, avšak při užití PWM se nám bude zdát, jako by zářila na plný výkon [17].

Obrázek 27 Šířková modulace proudu (zdroj [17])



7 Hon za výkonem neboli Power LED

7.1 Co si představit pod pojmem Power LED

Klasické a běžně dostupné LED diody pracují v rozmezí zhruba 20 – 100 miliwattů (mW). Některé mohou být samozřejmě pod touto hranicí, jiné nad ní, záleží na daném typu LED. Co se týče Power LED, musíme hovořit o vyšším řádu výkonnosti. Jejich výkony se pohybují v řádech wattů (W), což je mnohonásobně více než u běžných LED. Power LED využívají mnohem větších polovodičových částí, aby se dokázaly vypořádat s takto velkým vstupním výkonem. Polovodičové části jsou zpravidla připevněny na kovové tzv. pasivní chladiče, které pomáhají odvádět teplo z Power LED.

7.2 První Power LED

Kolem roku 1999 vznikla první Power LED, která byla schopna zvládnout výkon o velikosti 1 W. Tuto LED vyvinula společnost Philips Lumileds. Philips Lumileds vznikla zhruba před 40 lety jako divize Hewlett Packard (HP). Dnes jsou největším a nejvýznamnějším výrobcem na poli Power LED a v oblasti využití polovodičového osvětlení pro každodenní účely, jako například automobilové osvětlení, dopravní značení, LCD podsvícení atd. Společnost vlastní patent na světelné zdroje, které vyvinula, na trhu jsou uvedeny pod názvem Luxeon Power Light Sources, obchodní zkrácený název Luxeon. Tyto zdroje světla v sobě kombinují svítivost klasického osvětlení při velmi malých rozměrech, dlouhou životnost a mnoho dalších výhod, které spolu přináší LED diody. Další velmi důležitou firmou ve vývoji Power LED je firma Cree, Inc. [6; 22].

7.3 Cree, Inc.

V září 2003 předvedla společnost Cree, Inc. svůj nový typ modré LED diody. Její výkon byl 24 mW při 20 mA, což znamenalo dosažení 65 lm/W právě při 20 mA. Stala se tak nejvýkonnější LED diodou ve své době, a to s účinností více než čtyřnásobně vyšší oproti standardní vláknové žárovce. V roce 2006 společnost demonstrovala nový prototyp LED diody s účinností 131 lm/W při 20 mA. Společnost také naplánovala, že v roce 2007 vyrobí LED s výkonem 135 lm/W a v roce 2008 LED s výkonem 145 lm/W. V prosinci roku 2009 dosáhla společnost světelného výkonu neuvěřitelných 186 lm/W. Přestože tato dioda byla vyrobena pouze v laboratorních podmínkách,

a nebyla uvedena na trh, nabízí společnost Cree, Inc. nejrozsáhlejší řadu LED diod s výkonem 100 a více lm/W [6; 23].

7.4 Význam Power LED

Power LED jsou velmi důležitou součástí automobilového průmyslu. Díky jejich výborným vlastnostem se začaly užívat zpočátku jako světla pro denní svícení (DRL – Daytime Running Light), poté se začaly integrovat do brzdových i potkávacích světel, a v poslední době jsou užívána i jako světla dálková. V tomto případě se již jedná o tzv. full LED světla. Využívání LED světel má několik výhod, například velká životnost, nízká spotřeba, velká účinnost, světlostálost, ale také malé rozměry, díky kterým mohou automobiloví designéři vymýšlet takřka neomezené a nevhodnější tvary osvětlení automobilu. Důkazem toho je například automobilka Audi nebo BMW, která je známa svými světly ve tvaru kočičích očí tzv. Cat Eye.

Další významnou roli hrají Power LED při nahrazování sodíkových výbojek v pouličních lampách veřejného osvětlení nebo domácích žárovek. Dále se s nimi můžeme setkat u drahých ručních svítidel, které nejenže vydrží svítit velmi dlouho, ale mají i daleko větší výkon, než by tomu bylo například při užití halogenových žárovek.

Obrázek 28 Ukázka full LED světlometu Audi R8 (zdroj [24])



8 Využití LED v automobilovém průmyslu [12]

První aplikace LED technologie ve světlech je datována z první poloviny let devadesátých, kdy byly vyvinuty pro Japonský trh centrální vysoce svítivá brzdová světla (CHMSL - central high mounted stop lamps) s použitím 5 mm LED diod. Od této doby se začaly implementovat LED diody do všech funkcí osvětlení automobilů jako zadní světla, přední světla, blinkry, mlhová světla, a další. Automotive Lighting s masovou výrobou těchto typů osvětlení začala v roce 2005.

8.1 Využití tepla

V porovnání s halogenovým nebo xenonovým světlem emitují LED diody „studené“ světlo. To znamená, že nevyzařují žádné infračervené záření. Díky vysoké účinnosti je zhruba 20% vstupní energie transformováno ve světlo (klasické světlomety transformují okolo 5%), zbylá energie je přeměňována na teplo. Světelný tok, barva světla, ale také napětí v propustném směru závisí na teplotě čipu. V případě, že teplota překročí dovolenou hranici, životnost LED diody se velmi rychle zkrátí, v horším případě může dojít k okamžitému zničení LED diody. Aby bylo možno ochránit nejteplejší část, tj. čip LED diody, byl vyvinut velmi precizní chladicí systém s důkladnou cirkulací vzduchu. Vzduch, který je ohříván chladičem LED diody, proudí ke sklu reflektoru, kde se ochlazuje, poté se ochlazený vzduch vrací zpět k chladiči LED diody. Výhoda této cirkulace spočívá také v tom, že teplý vzduch rozmrazuje nebo vysušuje sklo světlomety a tím napomáhá k lepší viditelnosti a zároveň vyšší bezpečnosti.

8.2 Výhody nízké spotřeby

Užití LED technologie v automobilovém průmyslu má významný dopad na životní prostředí, díky snížení spotřeby paliva a s tím spojené emise výfukových plynů. Tohoto bylo dosaženo zvláště díky užití světel pro denní svícení (DRL – Daytime Running Light). DRL světla potřebují 14 W energie, zatímco klasické osvětlení spotřebuje 300 W energie.

Tabulka 5

	DRL	Klasické osvětlení
Spotřeba	2 x 7 W	300 W
Spotřeba paliva	0,014 l/100km	0,3 l/100km
Emise CO2	0,36 g CO2/km	7,86 g CO2/km
Životnost	20 000 h	1 000 h
údržba	Žádný servis	Třeba vyměnit minimálně 20 žárovek

Jak jasně plyne z tabulky, užití LED diod pro denní svícení má mnoho výhod. Jednak šetříme životní prostředí vypouštěním nižších emisí CO₂, dále šetříme fosilní paliva, která neustále ubývají. Další důvodem, proč užít DRL světla místo klasických, je jejich několikanásobně vyšší životnost. Nemusíme tedy kupovat a vyměňovat drahé žárovky, což má nepochybně kladný dopad na životní prostředí. Pokud v autě nemáme namontovány DRL světla již od výrobce, je velmi dobré si je dokoupit a namontovat. Montáž nezabere mnoho času, investice se brzy vrátí a auto získá lepší vzhled.

Obrázek 29 DRL u Škoda Octavia I (foto - autor)



8.3 LED v brzdových světlech

Kromě již několikrát zmiňovaných předností LED diod jako je dlouhá životnost, malé rozměry a mnoho dalších, mají LED diody velmi rychlé spínací časy. Na rozdíl od klasických žárovek jim nevadí časté vypínání a zapínání. Tohoto faktu lze velmi dobře využít u brzdových světel automobilů, kde je rychlost v krizových situacích životně důležitá.

Tabulka 6 Rozdíly brzdových světel při užití LED a klasické žárovky

	LED	Žárovka
Spotřeba	4W	21W
Montážní hloubka	50 mm	150 mm
Operační teplota	50 °C	100 °C
Životnost	20 000 h	1 000 h
údržba	Žádný servis	Třeba vyměnit minimálně 20 žárovek
Spínací čas	1 ms	200 ms

Obrázek 30 Bezpečnější jízda díky LED brzdovým světlům



Jak plyne z tabulky, spínací doba LED diody je řádově 200x menší jak u klasické vláknové žárovky. V případě jízdy, například na dálnici v rychlosti 120 km/h, má řidič jedoucí za automobilem s LED brzdovým světlem o 6,6 m více prostoru na reakci, díky téměř okamžitému rozsvícení brzdových světel. Existují studie, které prokazují, že užití LED světel má za následek snížení úmrtnosti při vážných dopravních nehodách o 3 – 5%. V poslední době se také pracuje na tzv. adaptivních světlech. Tato světla by měla měnit intenzitu svitu v závislosti na stylu jízdy, tedy při mírném brzdění budou svítit méně, naopak při prudkém sešlápnutí pedálu se rozsvítí na maximum. Tento projekt můžeme považovat za jakousi komunikaci automobilu a řidiče jedoucího za ním, který tak může přiměřeně reagovat na danou situaci.

9 Výhody a nevýhody LED, životnost LED a jejich další užití

9.1 Výhody LED technologie [25; 26; 27]

Výhody LED diod se dají stručně shrnout do několika následujících bodů. Určitě najdeme více výhod, tyto jsou však nejdůležitější.

- Nízká spotřeba energie (přibližně desetinová, v porovnání s klasickými žárovkami)
- Jedna z nejúčinnějších přeměn elektrické energie na světlo
- Téměř okamžitý start po zapnutí (například oproti zářivkám nebo úsporným žárovkám)
- Počet zapnutí neovlivňuje životnost LED diody (klasickým zdrojům nesvědčí časté zapínání)
- Vyzařované světlo neobsahuje UV záření (na rozdíl od zářivek a výbojek)
- Nevyzařují infračervenou složku (na rozdíl od klasické žárovky)
- Stabilní a nekmitavé světlo (u některých žárovek nebo zářivek lze tento jev pozorovat)
- Splňují směrnici RoHS (redukce obsahu nebezpečných látek)
- Teplota LED světla téměř dosahuje kvality denního světla
- Extrémně dlouhá životnost (oproti klasickým žárovkám řádově 30x – 100x ale i více)
- Vysoká mechanická odolnost (vůči otřesům, nárazům, vibracím atd.)
- Nízká povrchová teplota (bezpečné například pro malé děti)

9.2 Nevýhody LED technologie [27; 20]

Nevýhody LED diod se dají stručně shrnout do několika následujících bodů. Určitě najdeme více nevýhod, tyto jsou však nejdůležitější.

- Vyšší pořizovací náklady (tuto cenu však „zaplatí“ její extrémní životnost)
- LED dioda musí být napájena správným proudem
- Výkonnost velmi závisí na teplotě okolního prostředí

- Úzký paprsek vyzařování (toto může být bráno i zároveň i jako výhoda)
- Světlo z bílých LED může zkreslovat barvy
- Roste znepokojení z toho, že modré a bílé LED jsou schopny poškodit zrak, neboť lidské oko je velmi citlivé na modrou a bílou barvu. Extrémní intenzita, která je použita u LED diod, může oko poškodit. Dnešní diody jsou schopny překračovat bezpečnostní limity specifikované v *ANSI/IESNA RP-27.1-05: Recommended Practice for Photo biological Safety for Lamp and Lamp Systems*.

9.3 Životnost

Co se týče životnosti LED diod, je nutno říci, že udávaná životnost není doba, za jakou přestane LED dioda svítit. Je to pouze doba, za kterou se sníží její světelný výkon na určitou hranici. Klasicky bývá udávána životnost 100 000 hodin, občas se můžeme setkat i s hodnotou nižší, například 25 000 hodin. Pokud má LED žárovka označení například L75 při 50 000 hodinách, znamená to, že po dosažení 50 000 hodin klesne její světelný výkon na 75% původní hodnoty. Tato označení mohou být různá, například Philips užívá L85, L75, L60, L50. Pokud budeme mít doma LED žárovku s životností 50 000 hodin, vydrží nám svítit 6 250 dní (tj. více než 17 let) při 8 hodinovém svícení denně. Toto v praxi znamená, že při zakoupení LED žárovky se o výměnu nejspíše postará až následující generace. Tento fakt znamená značné úspory, protože odpadá kupování klasických žárovek. Tyto jsou sice levnější než LED žárovky ale budeme je muset koupit daleko více a ve výsledném efektu jsou několikanásobně dražší. [9].

9.4 Porovnání účinnosti LED a ostatních zdrojů světla

Účinnost a měrný světelný výkon je popsána v následující tabulce. Tabulka má údaj pro LED světlo o výkonu 140 lm/W. Jak jsme se dočetli výše, společnost Cree, Inc. vyvinula LED od výkonu 186 lm/W, která by byla výkonnější než nízkotlaká sodíková výbojka a měla by i větší účinnost. Ale tato LED není dostupná, protože byla vyvinuta v laboratorních podmínkách.

Tabulka 7 Měrný světelný výkon většiny světelných zdrojů (zdroj [11])

	Měrný světelný výkon P (lm/W)	světelná účinnost K (%)
Svíčka	0,3	0,04
Žárovka wolframová, 5W	5	0,7
Žárovka wolframová, 40W	10,5	1,5
Žárovka wolframová, 60W	11,7	1,7
Žárovka wolframová, 100W	13,4	2,0
Halogenová žárovka křemenná	24	3,5
Vysokoteplotní žárovka	35	5,1
Kompaktní zářivka (úsporná žárovka) 5 – 24W	45 – 60	6,6 – 8,8
Zářivka trubcová	50 – 104	7,0 – 15,2
Výbojka metalhalogenidová	100	15,0
Výbojka vysokotlaká, sodíková	150	22,0
Výbojka nízkotlaká, sodíková	183	27,0
Svítilno LED20	140	20,0
Denní světlo	41	6,0

9.5 Kolik lze ušetřit?

Následující text nám přiblíží, kolik lze ušetřit při použití LED žárovek v menší firmě. Firma bude užívat celkem 100 žárovek 12 hodin denně při ceně za 1 kWh 5,50 Kč.

Tabulka 8 úspory v menší firmě [28]

	Spotřeba v kWh/den	Spotřeba v kWh/rok	Spotřeba v Kč/den	Spotřeba v Kč/rok
Spotřeba klasické žárovky	120	43 800	600	219 000
Spotřeba LED žárovky	13,3	4 866,7	66,7	24 333,3
Finanční úspora s LED žárovkami	106,7	38 933,3	533,3	194 666,7

Jak je vidět z tabulky, výsledná úspora za rok je 194 666,7 Kč. Za 10 let lze takto ve firmě uspořit téměř 2 mil. Kč, což je nemalá částka. Další důvod proč užít LED je opět ekologické hledisko. Pokud bychom si chtěli vypočítat úspory (například v domácnosti), kalkulačku pro výpočet lze nalézt například zde: <http://www.ledkovezarovky.cz/led-zarovky-vypocty.php>

10 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá základními informacemi ohledně problematiky LED diod. Úvod práce objasňuje historii, objevení LED diod a klíčové pojmy. Další kapitola je věnována zapojení, typům a možnostem využití LED diod. V závěru práce jsou uvedeny informace o využití LED technologie v automobilovém průmyslu, kde jsou taktéž popsány základní výhody a nevýhody LED technologie.

V dnešní době jsme takřka neustále zahlcováni informacemi o ekologickém stavu naší země nebo o cenách elektřiny. Jistě si každý všiml, že cena elektřiny (jakožto i jiných energetických zdrojů) neustále stoupá. Zhruba od roku 2000 do roku 2004 cena stagnovala, ale od té doby je elektrická energie stále dražší. Je pravdou, že například ceny plynu se zvyšují rychleji. Avšak musíme přiznat, že elektrickou energii využíváme v domácnosti daleko častěji. Snaha o šetření je cílem snad každé domácnosti. Právě k tomuto nám mohou pomoci LED diody.

Možnost ušetřit energii (a tím i náklady), spočívá například ve výměně klasických žárovek nebo úsporných žárovek za LED žárovky. Ano, jistě je pravdou, že náklady na tuto výměnu jsou nemalé, protože ceny LED žárovek jsou vyšší než ceny klasických nebo úsporných žárovek. Tuto cenu nám ale LED žárovky brzy vynahradí a to hned z několika důvodů. Prvním důvodem je fakt, že LED žárovky jsou takřka nezníčitelné. Jejich životnost je mnohonásobně vyšší než u klasických žárovek (například 20x – 50x). Pokud vezmeme v úvahu jen tento faktor, vyjde nás LED žárovka daleko levněji než daný počet klasických žárovek. Další nespornou výhodou je vysoká účinnost LED technologie a s ní spojená malá energetická náročnost. Pro volbu LED žárovek také mluví mnoho dalších aspektů, mezi které patří například odolnost proti pádu, vysoká mechanická odolnost a mnoho dalších. Dalším hlediskem je hledisko bezpečnostní – LED žárovky nehřejí jako klasické žárovky, nehrozí tedy nebezpečí popálení, ať již o kryt světla nebo o žárovku samotnou. Pokud vezmeme v úvahu všechny tyto vlastnosti, jsou LED žárovky jasnou volbou do domácností, kde nám mohou ušetřit i několik tisíc ročně.

Tolik k výhodám LED žárovek v domácnostech. Nyní bych se rád zmínil o využití v průmyslu. LED diody jsou ideální pro použití v náročných aplikacích, kde vyžadujeme velké výkony, malé rozměry, výborné provozní vlastnosti, odolnost a mnoho dalších požadavků. To se týká především automobilového průmyslu. Právě díky technologii LED mohly být vyvinuty nevšední tvary světlometů, kterých bychom s využitím klasických žárovek jen stěží dosáhli. LED technologie také do jisté míry přispívá k bezpečnějšímu provozu na silnicích. Daleko častěji potkáváme auta s DRL světly a každý řidič jistě ví, že takto osvětlené auto je vidět daleko lépe než auto s obyčejnými žárovkami. Ačkoliv platí zákon, že je nutno za jízdy svítit, někteří řidiči jej nedodržují

s odůvodněním, že jim poté častěji praskají žárovky a nechtějí kupovat nové, protože jsou drahé. Tím samozřejmě ohrožují nejen bezpečnost svoji, ale i bezpečnost ostatních účastníků silničního provozu. S použitím DRL světel tento problém odpadá, protože životnost DRL světel bude jistě několikanásobně vyšší než životnost celého automobilu. Dalším přínosem LED pro bezpečnější jízdu je užívání LED v brzdových světlech (zde původně LED v automobilovém průmyslu začaly). LED diody se téměř okamžitě rozsvítí a není zde žádná prodleva, takže řidič jedoucí za námi má více času na přiměřenou reakci. Jedná se sice o zlomky sekundy, ale v krizových situacích právě tyto zlomky vteřin rozhodují o následcích nehody.

Již zde bylo vyjmenováno mnoho výhod LED diod, ale jedna velmi důležitá nebyla zatím zmíněna. Jedná se o ochranu životního prostředí. LED diody totiž neobsahují žádné škodlivé nebo jedovaté látky, jak tomu bývá u výbojek nebo zářivek. Díky vysoké životnosti nám stačí například na 20 let pouze 1 LED žárovka. Považte, kolik žárovek byste museli vyměnit v domácnosti nebo například v automobilu za tuto dlouhou dobu. Také díky nižší spotřebě energie nezatěžujeme v takové míře životní prostředí. Myslím, že toto je dostatečně pádný důvod pro propagaci, další vývoj a užívání LED diod, neboť je to jedna z mnoha cest vedoucích ke zlepšení životního prostředí a jeho zachování pro budoucí generace.

Dle mého osobního názoru má LED technologie obrovský potenciál a vidím v ní budoucnost. Vždy jsem se doma snažil co nejvíce využívat LED technologii a neustále jsem si něco „bastlil“ z LED diod. Myslím si, že LED technologie kompletně vytlačí veškeré klasické žárovky, výbojky, zářivky a další. Jediným problémem této technologie je její značně úhlově omezené vyzařování světla. Na druhou stranu není vždy nutné pokrýt například celých 360°, jako nám pokryje žárovka nebo zářivka. Již teď jsem si jist, že z automobilového průmyslu LED technologie na dlouhá desetiletí nezmizí a za pár let se budou vyrábět auta čistě s full LED světlometry. LED diody také jistě nahradí sodíkové výbojky v pouličních lampách. Například New York vyměňuje 300 000 pouličních sodíkových lamp za LED lampy. Toto jim ušetří okolo 30% elektrické energie a životnost lamp se z původních 24 000 hodin zvýší na 50 000 – 70 000 hodin. Návratnost jedné lampy se pohybuje v rozmezí od 2 do 3 let.

Doufám, že moje práce přispěla k širšímu povědomí nejen o historii, zapojení, typech a užití LED diod. Mým hlavním cílem bylo, když ne přesvědčit, tak aspoň vést k zamyšlení nad užitečností širšího využití LED technologie v budoucnosti.

11 Citovaná literatura

1. **Schubert, E. Fred.** *Light - Emitting Diodes*. United Kingdom : University Press, Cambridge, 2003. ISBN 0-521-53351-1.
2. The History Of LEDs Began In The Early 1900's. *My-LED-Passion*. [Online] [Citace: 23. 2 2011.] <http://www.my-led-passion.com/history-of-leds.html>.
3. **Lippert, Michael T.** Building a DIY LED from SiC. *dlip*. [Online] [Citace: 31. 3 2011.] <http://www.dlip.de/?cat=8>.
4. **Smithsonian Institution.** The Quartz Watch. *The Quartz Watch*. [Online] [Citace: 17. 2 2011.] <http://invention.smithsonian.org/centerpieces/quartz/inventors/biard.html>.
5. **Massachusetts Institute of Technology.** Lemelson-MIT Program. *Lemelson-MIT Program*. [Online] [Citace: 18. 2 2011.] <http://web.mit.edu/invent/a-winners/a-holonyak.html>.
6. **UNIVERSAL DESIGN CONSORTIUM.** Light Emitting Diode (LED). *UNIVERSAL DESIGN CONSORTIUM*. [Online] [Citace: 10. 3 2011.] <http://udcinc.org/LED.html>.
7. LED forum 2010. *LED forum 2010*. [Online] [Citace: 23. 2 2011.] <http://seminar.ledinside.com/Ledforum/2010/US/speakers/>.
8. daylife. *daylife*. [Online] [Citace: 31. 3 2011.] <http://www.daylife.com/photo/07Nbcww2MMduY>.
9. Calculators. *Flickr*. [Online] [Citace: 4. 4 2011.] <http://www.flickr.com/photos/cupdegrave/sets/72157623338365126/detail/>.
10. Very First LED watch of the 70's . *WATCH FEVER*. [Online] [Citace: 31. 3 2011.] <http://watch-fever.blogspot.com/2010/09/very-first-led-watch-of-70s.html>.
11. Světelná účinnost zdrojů světla (žárovky, kompaktní zářivky, výbojky a dalších). *Stavebnictví a interiér*. [Online] [Citace: 25. 3 2011.] <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/zarovka-usporna-zarovka-mnozstvi-svetla/>.
12. **Hewes, John.** Light Emitting Diodes (LEDs). *THE ELECTRONICS CLUB*. [Online] [Citace: 28. 2 2011.] <http://www.kpsec.freeuk.com/components/led.htm>.
13. LED basics *Crystal Blue LED's*. [Online] [Citace: 31. 3 2011.] http://www.crystalblue-leds.com/led_basics.

14. Cockpit lampjes vervangen + demontage dashboard Clio 2 ph2. *clioclub.nl*. [Online] [Citace: 3. 4 2011.] <http://www.clioclub.nl/viewtopic.php?f=14&t=6126>.
15. Wholesale. *o-digital.com*. [Online] [Citace: 3. 4 2011.] <http://www.o-digital.com/wholesale-products/2226/2231-1/SMD-LED-1206-HWVB1206d-126405.html>.
16. **Zdeněk, Škorňák**. led plošné a bargrafy - prodej. *profi elektronika.cz*. [Online] [Citace: 4. 4 2011.] <http://www.profi-elektronika.cz/led-diody/led-plosne-a-bargrafy/id/50/3432/3447/p/15/3/&producer=&Param=&bDescending=>.
17. **Storr, Wayne**. Light Emitting Diodes. *Electronics-Tutorials*. [Online] [Citace: 28. 2 2011.] http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_8.html.
18. **Limited, Lightkey Company**. 16 segment LED display. *led-display.cc*. [Online] [Citace: 4. 4 2011.] <http://www.led-display.cc/16-Segment-LED-Display/38/LD5015AB-SERIES:-0.5-inch-single-digit-16-segment-LED-display-.htm>.
19. Led Dot Matrix Display. *DIYTrade*. [Online] [Citace: 4. 4 2011.] http://www.diytrade.com/china/4/products/6240345/Led_Dot_Matrix_Display.html.
20. LED. *LED DIODY*. [Online] [Citace: 28. 3 2011.] <http://led-lamp.wgz.cz/led-diody>.
21. **OK Solar**. Technical LED's LED Color Chart. *OkSolar.com*. [Online] [Citace: 3. 4 2011.] http://www.oksolar.com/led/led_color_chart.htm.
22. **Franklin, Mindy a Ovitt, Jason**. President Bush Awards Lumileds Lighting's Chief Technology Office Dr. M. George Craford The 202 National Medal of Technology. *LUMILEDS*. [Online] [Citace: 12. 3 2011.] http://www.philipslumileds.com/newsandevents/releases/11_06_03_CrafordMedalRelease_PR.pdf.
23. OSVĚTLE aktuálně o světle a osvětlení. *HP LED CREE DOSÁHLA 186 LM/W*. [Online] [Citace: 12. 3 2011.] <http://www.osvetle.cz/index.php/profesional/6-technikaprofes/28-hp-led-cree-dosahla-186-lmw.html>.
24. FotonMag fórum > Světla > Ostatní typy světel > Automobily. *forum.fotonmag.cz*. [Online] [Citace: 3. 4 2011.] <http://forum.fotonmag.cz/index.php?showtopic=1113>.
25. Výhody LED technologie. *Power Tech*. [Online] [Citace: 28. 3 2011.] <http://www.power-tech.cz/led-lighting-vyhody.php>.

26. LED ve světlometech. *Automotive Lighting*. [Online] [Citace: 28. 3 2011.] <http://www.automotive-lighting.cz/produkty-a-technologie/led>.

27. LED žárovky. *ledkove zarovky.cz*. [Online] [Citace: 28. 3 2011.] <http://www.ledkovezarovky.cz/led-zarovky-informace.html>.

28. LED žárovky. *ledkove zarovky.cz*. [Online] [Citace: 28. 3 2011.] <http://www.ledkovezarovky.cz/led-zarovky-vypocty.php>.

29. Lighting. *Automotive Lighting*. [Online] [Citace: 28. 3 2011.] <http://www.automotive-lighting.de/index.php?id=986&lang=en>.